Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 3, Fall 2022, p. 281-299

Experimental Evaluation of Heat Transfer of MF 285 Tractor Radiator, using Nano-fluid Al_2O_3 + Water

B. Rahmatinejad[1], M. Abbasgholipour[2*], B. Mohammadi Alasti[3]

1- Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystem Mechanical engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran
3- Assistant Professor, Department of Biosystem Mechanical engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran
(*- Corresponding Author Email: Abbasgholipour@bonabiau.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.2020.58870.0

Received: 19-10-2020 Revised: 22-11-2020 Accepted: 19-12-2020 Available Online: 19-12-2020	**How to cite this article:** Rahmatinejad, B., M. Abbasgholipour, and B. Mohammadi Alasti. 2022. Experimental Evaluation of Heat Transfer of MF 285 Tractor Radiator, using Nano-fluid Al_2O_3 +.Water. Journal of Agricultural Machinery 12 (3): 281-299. (In Persian). DOI: 10.22067/jam.2020.58870.0

Introduction

More than 30% of the heat energy generated by the engine is transferred by the cooling system. If this heat transfer is not accomplished properly, then the engine heat will increase and it will wear the parts by removing oil film between the pieces. A cooling system is used to remove this heat. The radiator is an important component of this system. Increasing heat transfer in the car engine by the cooling system is possible by using two methods of changing the radiator geometry and optimizing it and using fluids with high thermal properties. In this research, we investigated the improvement of radiator thermal performance using nanofluids using a laboratory model. The effect of nanoparticle volume fraction and cooling flow rate on heat transfer rate, and heat transfer coefficient was investigated.

Materials and Methods

In this research, a laboratory model was designed and manufactured to evaluate the thermal performance of the MF 285 tractor radiator using nanofluid. In this laboratory model, water was combined and used as a base fluid with nanoparticles Al_2O_3. 20 nm nanoparticles with volume percentages of 1 to 4% were used. An electric stirrer and magnetic stirrer were used to prepare the nanofluid. For the produced fluid to be usable, add SDBS surfactant to it. The temperature of the inlet fluid to the radiator was 85 °C and the cooling fluid flow rate was 3.18 to 15.08 (lit min^{-1})) and the airflow rate was 3.2 to 6.4 (m s^{-1}). Two T-type thermocouples are installed to measure the inlet and outlet temperature of the radiator and two other front and rear fans to measure the inlet and outlet air temperature and four more are installed on the radiator to measure the radiator body temperature.

Results and Discussion

The results show that in nanofluid with a 4% volume fraction compared to a 1% volume fraction, it can be seen an increase of 8.7% in density, 7.7% in viscosity, and 9.1% in thermal conductivity, and also a decrease of 8.8% in specific heat. The maximum temperature difference between the inlet and outlet sensors of the radiator when the thermostat is open and the cooling fluid flows through the radiator is 12 to 15 °C. By increasing the speed of the electromotor from 40 Hz to 50 Hz, the temperature of the water cooling fluid at the outlet part becomes 4.7 °C cooler and the air temperature at the outlet part becomes 7.3 °C warmer. As the speed of the electromotor increases, the rate of heat transfer increases. At the maximum value of airflow and cooling fluid, by adding 4% by volume of nanoparticles to the base fluid, the rate of heat transfer can be increased about 37% compared to the base fluid. Compared to water, nanofluid containing 4% by volume of Al_2O_3 at maximum speed has a 28% increase in heat transfer coefficient. Also, by increasing the electric motor speed from 20 Hz to 40 Hz, the heat transfer coefficient of pure water shows about 26% increase and the nanofluid shows an average of 29% increase.

Conclusion

Increasing the volume fraction of nanoparticles suspended AL_2O_3 in the base fluid increases the density, viscosity, and thermal conductivity, which increases the heat transfer rate and reduces the outlet temperature of the radiator. The presence of nanofluid in the engine cooling system increases the heat transfer from the radiator, and despite this feature, the size and weight of the radiator can be reduced without affecting its heat transfer

performance. It can also improve heat transfer performance by increasing the cooling flow rate and the airflow rate.

Keywords: Air flow speed, Fluid flow rate, Laboratory Model, Nanoparticles, Thermal performance

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص ۲۹۹-۲۸۱

ارزیابی تجربی انتقال حرارت رادیاتور تراکتور MF 285 با استفاده از نانوسیال $Al_2O_3 + Water$

بهمن رحمتی‌نژاد[۱]، مهدی عباسقلی‌پور[۲*]، بهزاد محمدی الستی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

چکیده

در این تحقیق به‌منظور بررسی عملکرد حرارتی رادیاتور تراکتور MF 285 با استفاده از نانو سیال، مدل آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. در این مدل آزمایشگاهی آب و اتیلن گلیکول به‌عنوان سیال‌های پایه با نانوذرات AL_2O_3 ترکیب و مورد استفاده قرار گرفتند. از نانوذرات 20 nm با درصدهای حجمی ۱ الی ۴ درصد استفاده شد. دمای سیال ورودی به رادیاتور حداکثر ۸۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان سیال خنک‌کننده ۳/۱۸ $(\mathrm{lit}\ min^{-1})$ تا ۱۵/۰۸ $(\mathrm{lit}\ min^{-1})$ و سرعت جریان هوا از ۳/۲ $(\mathrm{m\ s^{-1}})$ تا ۶/۴ $(\mathrm{m\ s^{-1}})$ متغیر بود. نتایج نشان داد افزایش سرعت جریان مایع خنک‌کننده و سرعت جریان هوا می‌تواند عملکرد انتقال حرارت را بهبود دهد همچنین افزایش کسر حجمی نانوذرات در سیال پایه موجب افزایش نرخ انتقال حرارت و کاهش دمای خروجی می‌گردد. بنابراین با افزایش دور الکتروموتور از ۲۰ Hz به ۴۰ Hz ضریب انتقال حرارت آب خالص به‌طور متوسط ۲۶٪ و نانو سیال ۲۹٪ افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن ۴ درصد حجمی نانوذرات به سیال پایه می‌توان نرخ انتقال حرارت را به‌طور متوسط ۳۷٪ و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی را ۲۸٪ نسبت به سیال پایه افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: سرعت جریان سیال، سرعت جریان هوا، عملکرد حرارتی، مدل آزمایشگاهی، نانوذرات

مقدمه

احتراق مخلوط سوخت و هوا در موتورهای احتراق داخلی تولید قدرت نموده که بخشی از آن مفید بوده و بخش دیگر آن توسط سیستم خنک‌کننده و اگزوز تلف می‌شود. تقاضا برای موتورهای قدرتمند در فضای کوچک‌تر موتور و سیستم‌های خنک‌کاری مشکلاتی در میزان تلفات گرما در رادیاتور خودرو به‌وجود آورده است. بیش از ۳۰ درصد انرژی حرارتی تولید شده موتور توسط سیستم خنک‌کاری منتقل می‌شود. و درصورتی‌که این انتقال حرارت به‌درستی صورت نگیرد گرمای موتور افزایش یافته و با از بین رفتن فیلم روغن بین قطعات باعث ساییدگی قطعات می‌شود. برای از بین بردن این حرارت از سیستم خنک‌کننده استفاده می‌شود. رادیاتور جزء مهمی از این سیستم است. زمانی‌که سیال خنک‌کننده از میان موتور حرکت می‌کند گرمای تولید شده در آن را جمع نموده و زمانی‌که به یک حد مشخص رسید ترموستات اجازه ورود آب گرم را به رادیاتور می‌دهد. دمای آب از بدنه رادیاتور به روش هدایتی و از سطح آن به هوای اطراف به روش جابه‌جایی منتقل می‌شود. افزایش انتقال حرارت در موتور خودرو به‌وسیله سیستم خنک‌کاری (رادیاتور خودرو) با استفاده از دو روش تغییر هندسه رادیاتور و بهینه‌سازی آن و استفاده از سیالاتی با خواص حرارتی بالا امکان‌پذیر است. تحقیقاتی در زمینه ایجاد تنوع هندسی در رادیاتور با استفاده از فین‌ها یا لوله‌های مختلف با سطوح زبر و صاف انجام شده است. اگرچه طراحی ساختار هندسی مناسب می‌تواند باعث افزایش انتقال حرارت شود ولی به علت محدودیت‌های فضا و کاربری خاص رادیاتور، تغییر ساختار هندسی چندان کارآمد نمی‌باشد. بنابراین استفاده از سیالات با انتقال حرارت بالا توصیه می‌شود. علاوه بر این، افزایش حرارت در رادیاتور خودرو با استفاده از سیالات آب به همراه اتیلن گلیکول به‌عنوان ضدیخ به علت ضریب انتقال حرارت پایین امکان‌پذیر نبوده و استفاده از سیالاتی با ضریب انتقال حرارتی بالاتر، متخصصین را بر آن داشته تا به دنبال سیالاتی با ویژگی‌های مناسب بروند (Peyghambarzadeh *et al.*, 2011a). یکی از آثار طراحی آیرودینامیکی خودروها، کوچک شدن فضای جلوی خودروها و محدودیت هندسی چیدمانی اجزای سیستم خنک‌کننده است که نتیجه آن، کاهش فاصله میان رادیاتور، موتور و فن می‌باشد. کاهش این فاصله موجب می‌شود تا جریان هوای خروجی از فن به‌صورت شعاعی حرکت کند و از آن‌جا که نوع فن در

۱- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Abbasgholipour@bonabiau.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.2020.58870.0

سیستم خنک‌کاری خودرو غالباً جریـان محـوری اسـت، ایـن شـرایط سبب می‌شود تا فن در حالتی غیر از شرایط طراحی کار کند. به همین جهت، طراحی بهینه‌ی سیستم خنک‌کاری خودرو اهمیت ویژه‌ای دارد. صبرعلیلو و همکاران شدت صوت پروانه محوری رادیـاتور تراکتـور در تونل باد را اندازه‌گیری کرده و با نتایج عددی حاصـل از شـبیه‌سـازی دینامیک سیالات محاسـباتی مقایسـه کردنـد (Sabralilou, 2020). تاکنون مطالعات تجربی و تئوری گسترده‌ای جهت افـزایش هـدایت حرارتی سیال با اسـتفاده از ذرات معلـق بسـیار ریـز انجـام شـده کـه به‌عنوان راهکار جدیدی جهت افزایش انتقـال حـرارت شـناخته شـده است. در این راستا ماکسول در سال ۱۹۸۱ تحقیقـاتی در ایـن زمینـه انجام داد که در آن ذرات افزودنی بـه سـیال در مقیـاس میلـی‌متـر و میکرومتـر بـود (Maxwell, 1891). ایـن روش دارای مشـکلاتی، از جمله ته‌نشین شدن ذرات، کند شدن جریان سیال، ساییدگی لوله‌هـا و افت فشار شدید جریان بود. در مقابل میکروذرات، نانوذرات بـه دلیـل نسبت سطح به حجم بالا، این مشکلات را نداشت. افزودن مواد فلزی با ابعاد نانومتر به سیال عامل معمولی مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن صنعتی، نخستین بار توسط چوی پیشنهاد شد (Choi, 1995). داس و همکاران به بررسی جامع از مطالعـات انجـام شـده در زمینـه کـاربرد نانوسیالات درون مبدل‌های حرارتی برای به‌دست آوردن یک تئـوری جامع پرداختند. در این تحقیق رفتار حرارتی نـانو ذرات درون سـیالات پایه بررسی شد و دریافتند که نانو سیال‌ها هدایت حرارتی را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (Das *et al.*, 2006). محققین متعـددی در زمینه‌ی بررسی رفتار حرارتی رادیاتورها در سیستم خنـک‌کننـده‌ی خودرو، تحقیق نموده‌اند. گیفورد و همکاران تاثیر اجـزای پـایین‌دسـت فن، نظیر موتور را بر روی فن‌های محـوری در سیسـتم خنـک‌کـاری خودرو مورد بررسی قرار داده و مشخص نمودند که اجزای پایین دست فن، در افزایش افت فشـار و در نتیجـه، کـاهش دبـی جریـان، نقـش موثری دارند (Gifford *et al.*, 2006). اولایت و همکاران با توسـعه یک مدل ریاضی دقیق برای مبدل حرارتی، تاثیر پارامترهای مختلـف، نظیـر دبـی جریـان عبـوری از رادیـاتور را بـر روی عملکـرد سیسـتم خنک‌کاری به‌صورت عددی بررسی نموده و نشان دادند که با افزایش دبی هوای عبوری، ظرفیت خنک‌کنندگی افزایش می‌یابد. به‌صورتی‌که گرادیان منحنی ظرفیت خنک‌کنندگی بـا افـزایش دبـی کـاهش پیـدا مـی‌کنـد (Oliet *et al.*, 2007). مـوریس و همکـاران بـا اسـتفاده از جریان‌سنج سیم داغ، توزیع سـرعت در پـایین دسـت فـن را در یـک سیستم خنک‌کاری خودرو اندازه‌گیری نموده و نشان دادند که جریـان خروجی فن، چرخشی بوده و در اطراف توپی و پـره، پروفیـل جریـان، کـاملا متفـاوت مـی‌باشـد (Morris *et al.*, 1998). چیـو تـاثیر غیریکنواختی جریان را بر میزان انتقال حرارت در سیستم خنک‌کـاری خودرو مورد مطالعه قـرار داده و نشـان داد غیریکنـواختی سـرعت در جریان ورودی رادیاتور، به شدت عملکرد حرارتی آن را کاهش می‌دهد (Chiou, 1980). لونگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ ویژگی‌های انتقال حرارت و افت فشار رادیاتور ماشین را با استفاده از نـانوذرات مـس در اتیلن گلیکول به‌عنوان خنک‌کننـده بررسـی کردنـد. آن‌هـا اثـر کسـر حجمی نانوذرات مس و تاثیر عدد رینولدز هوا و خنک‌کننده را بر روی عملکرد حرارتی رادیاتور و نیز افت فشـار خنـک‌کننـده و تـوان پمـپ بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شـدت انتقـال حـرارت بـا افـزایش غلظت حجمی نانوسیالات زیاد می‌شود. علاوه بر این عملکرد حرارتی رادیاتور با استفاده از نانوسیال با خنک‌کننده اتـیلن گلیکـول بـا اعـداد رینولدز هوا و خنک‌کننده افزایش می‌یابـد. همچنـین گـزارش کردنـد حدود ۱۲/۱۳ درصد افزایش در توان پمپ در غلظت ۲ درصد نانوذرات مس در دبی حجمی ۰/۲ متر مکعب بر ثانیه نسبت به سیال پایه لازم است (Leong *et al.*, 2010). پیغمبرزاده و همکاران در سـال ۲۰۱۱ میلادی نانوذرات اکسید آلومینیـوم را بـه آب خـالص در یـک نمونـه رادیاتور خودرو پراید اضافه کردند. با توجه به نتایج آن‌ها بـا جـایگزین کردن نانوسیال بـه‌جـای آب خـالص، ضـریب انتقـال حـرارت سـیال خنک‌کننده ۴۵ درصد افزایش یافـت (Peyghambarzadeh *et al.*, 2011a). پیغمبرزاده و همکاران در سال ۲۰۱۱ در تحقیق دیگری نانو ذرات اکسید آلومینیوم را به مخلوط آب و اتیلن گلیکول اضافه کردنـد. با توجه به نتایج آن‌ها با افزودن یک درصد نانوذرات اکسید آلومینیـوم به مخلوط آب و اتیلن گلیکول، میزان ضـریب انتقـال حـرارت سـیال خنک‌کننده ۴۰ درصد افزایش یافـت (Peyghambarzadeh *et al.*, 2011b). راجا و همکاران در سال ۲۰۱۶ بـه مـروری بـر مشخصـات نانوسیال‌ها، مشخصات انتقال حرارتی و کاربردهای آن پرداختند. آن‌ها مطالعات اخیر محققان را بررسی نمودنـد و متوجـه شـدند جنبـه‌هـای مختلف نانوسیال‌ها از جمله رسانایی گرمـایی، ویسـکوزیته، مطالعـات تجربی، مطالعات عددی انتقال حرارت و کاربردهای نانوسیال‌ها مـورد توجه بوده است (Raja *et al.*, 2016). بزرگ بیگدلی و همکـاران در سال ۲۰۱۶ میلادی به مروری بر انتقال پدیده انتقال حـرارت و جـرم نانو سیال خنک‌کننده با تمرکز ویژه برای استفاده در خودرو پرداختنـد. آن‌ها نشان دادند که تعلیق مهندسی نـانوذرات (نانوسـیال) مـی‌توانـد مشخصه خواص حرارتی را افزایش دهد. با توجه به افـزایش نیـاز بـه سیستم‌های خنک‌کننده عملکرد فوق‌العـاده بـالا، اخیـراً نانوسـیال‌هـا به‌عنوان ماده سردکننده رادیاتور ماشین شناخته می‌شوند. با این حـال طبیعت چند مقیاسی نانوسیال دلالت بر روابط کوچک امـا بـا اهمیـت بین ویژگی‌های طراحی، در نتیجه خواص فیزیکی حرارتی کـه کـاملاً شـناخته شـده نیسـت مـی‌باشـد (Bozorg Bigdeli *et al.*, 2016). حیدربیگی در تحقیقی بـه بررسـی تـاثیر اسـتفاده از نانوسـیال مـس، نانوسیال نقره و اکسید آلومینیوم بر میزان انتقال حرارت رادیاتور موتور تراکتور مسی فرگوسـن ۲۸۵ پرداختـه و نشـان داد در شـرایط کـاری

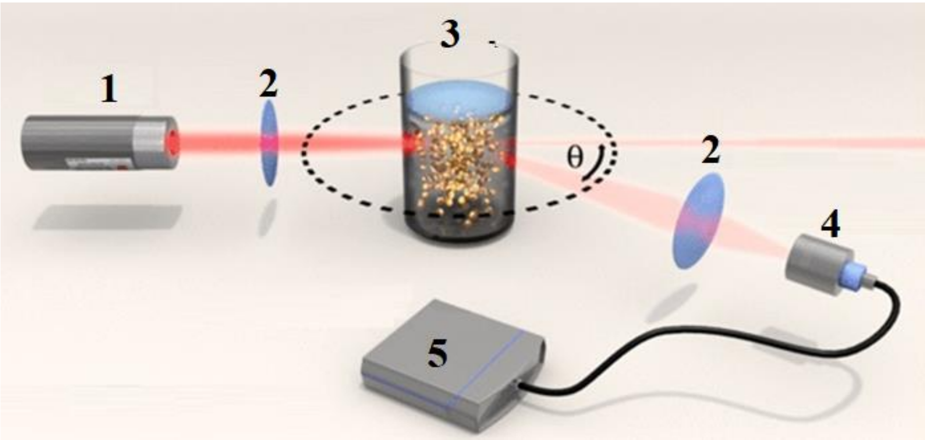
موتور و شرایط مزرعه‌ای شخم با گاوآهن به عمق ۲۰ سانتی‌متر انتقال حرارت با غلظت‌های ۸ و ۱۲ درصد از نانوسیال مس و نقره و دی‌اکسید آلومینیوم به‌ترتیب ۱۶، ۳۲، ۱۱/۳ و ۱۳درصد افزایش یافت (Heydarbeigi, 2017). در تحقیق حاضر به کمک مدل آزمایشگاهی طراحی شده ارزیابی انتقال حرارت بر روی رادیاتور تراکتور MF 285 با استفاده از نانوسیال $AL_2O_3 + Water$ با دو روش نظری و تجربی انجام شد. نظر به این‌که تاکنون برای بررسی انتقال حرارت رادیاتور مسی فرگوسن ۲۸۵ از مدل آزمایشگاهی استفاده نشده است تحقیق حاضر انجام گرفت. بی‌شک بررسی مقدار انتقال حرارت بر روی مدل آزمایشگاهی و شرایط محیطی ثابت باعث استخراج اطلاعات دقیق انتقال حرارت خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نانو سیال

در این تحقیق ابتدا نانوذرات AL_2O_3 توسط دستگاه PNC1k-C شرکت پیام‌آوران نانو فن‌آوری فردانگر به روش انفجار الکتریکی سیم به‌صورت نانوکلوئیدهای فلزی تولید شد. برای عکس‌برداری از نانوذرات از میکروسکوپ الکترونی عبوری[1] مدل H9500 شرکت HITACHI استفاده شد. برای دستیابی به نتایج مطلوب نمونه مورد بررسی تحت شرایط آماده‌سازی اولیه قرار گرفت بدین منظور از ساده‌ترین روش آماده‌سازی نمونه‌ها، یعنی روش خرد کردن استفاده شد. پس از آن، با تهیه سوسپانسیون مایع از ذرات و رسوب دادن بر روی گرید، برای انجام مطالعات توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری نمونه ارسال گردید.

برای اندازه‌گیری قطر نانوذرات از روش پراکنش نور استفاده شد. در این روش یک پرتو لیزر به سوسپانسیون تابانده می‌شود و پراکندگی نور لیزر توسط یک آشکارساز نوری ثبت می‌شود. ذرات با اندازه‌های مختلف، نور را به صورت‌های مختلفی پراکنده می‌کنند. ذرات بزرگ‌تر، نور را در زوایای کوچک‌تری پراکنده می‌کنند، در حالی‌که ذرات کوچک‌تر، در محدوده زوایای وسیع‌تری نور را پراکنده می‌سازند. پراکندگی نور توسط ذرات جامد باعث ایجاد یک الگو از نقاط روشن و تاریک روی آشکارساز می‌شود. این الگوهای روشن و تاریک با حرکت ذرات تغییر می‌کنند و باعث می‌شوند که الگوی ایجاد شده با زمان تغییر کند. نرم‌افزار دستگاه DLS با بررسی تغییرات این الگو با زمان می‌تواند توزیع اندازه ذرات را مشخص کند. ذرات بزرگ‌تر سرعت کمتری در محلول نسبت به ذرات کوچک‌تر دارند. از این رو تغییرات الگوی پراش در سوسپانسیونی با ذرات بزرگ‌تر کندتر از سوسپانسیونی با ذرات ریزتر تغییر می‌کند.



شکل ۱- اندازه‌گیری قطر نانو ذرات به روش DLS

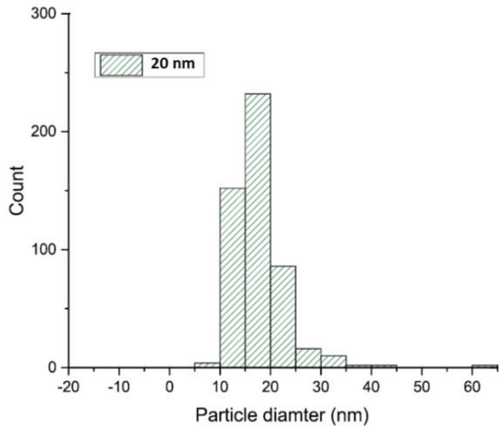
Fig.1. Measurement of nanoparticle diameter by DLS method

اجزای سیستم اندازه‌گیری قطر نانو ذرات به روش DLS مطابق شکل ۱ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی: ۱- لیزر، ۲- عدسی، ۳- نمونه، ۴- آشکارگر و ۵- ارتباط‌سنج می‌باشد. ارتباط بین اندازه ذرات و سرعت حرکت براونی توسط رابطه استوکس انیشتین برقرار می‌شود (رابطه ۱).

$$d_H = \frac{KT}{3\pi\eta\,D} \qquad (۱)$$

d_H: قطر هیدرودینامیکی ذره، K: ثابت بولتزمن، η: ویسکوزیته دینامیکی حلال است که به دما وابسته بوده و به چگالی و فشار سیستم مرتبط نیست، T: دمای مطلق و D: ضریب نفوذ است (Pecora, 1985). در شکل ۲ هیستوگرام اندازه‌گیری قطر ذرات آورده شده است.

1- Transmission Electron Microscope (TEM)



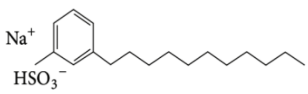
شکل ۲– هیستوگرام اندازه‌گیری قطر نانو ذرات AL_2O_3

Fig.2. The measurement histogram the diameter of nanoparticles AL_2O_3

برای تهیه نانوسیال از یک همزن برقی با قابلیت تنظیم دور از ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شد. و سپس از یک تکان‌دهنده‌ی مغناطیسی با سرعت ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ دور در دقیقه و قدرت گرمایش ۴۰۰W استفاده شد. به‌منظور حفظ پایداری محلول برای این‌که برای کارهای مهندسی مناسب باشد از ۱٪ وزنی مواد فعال‌کننده سطحی (سدیم دودسیل بنزن سولفونات) استفاده شد. مشخصات مواد فعال‌کننده سطحی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱– مشخصات مواد فعال‌کننده سطحی

Table 1- Specifications of surfactants

ماده فعال سطحی Surfactant	**فرمول مولکولی** Molecular formula	**ساختار فرمولی** Formula structure	**وزن مولکولی** Molecular Weight ($g.mol^{-1}$)	**دانسیته** Density ($g.cm^{-3}$)
سدیم دودسیل بنزن سولفونات Sodium dodecyl benzene sulfonate (Kong and Bao, 2017)	$C_{18}H_{29}NaO_3S$		348.48	1.02

جرم نانو ذرات (m_p) و جرم سیال پایه (m_f) با دقت (۰/۰۱ gr) اندازه‌گیری شد برای تخمین درصد وزنی از رابطه (۲) می‌توان استفاده نمود (Das *et al.*, 2003).

$$\phi = \left(\frac{m_p}{m_p+m_f}\right) \times 100 \qquad (۲)$$

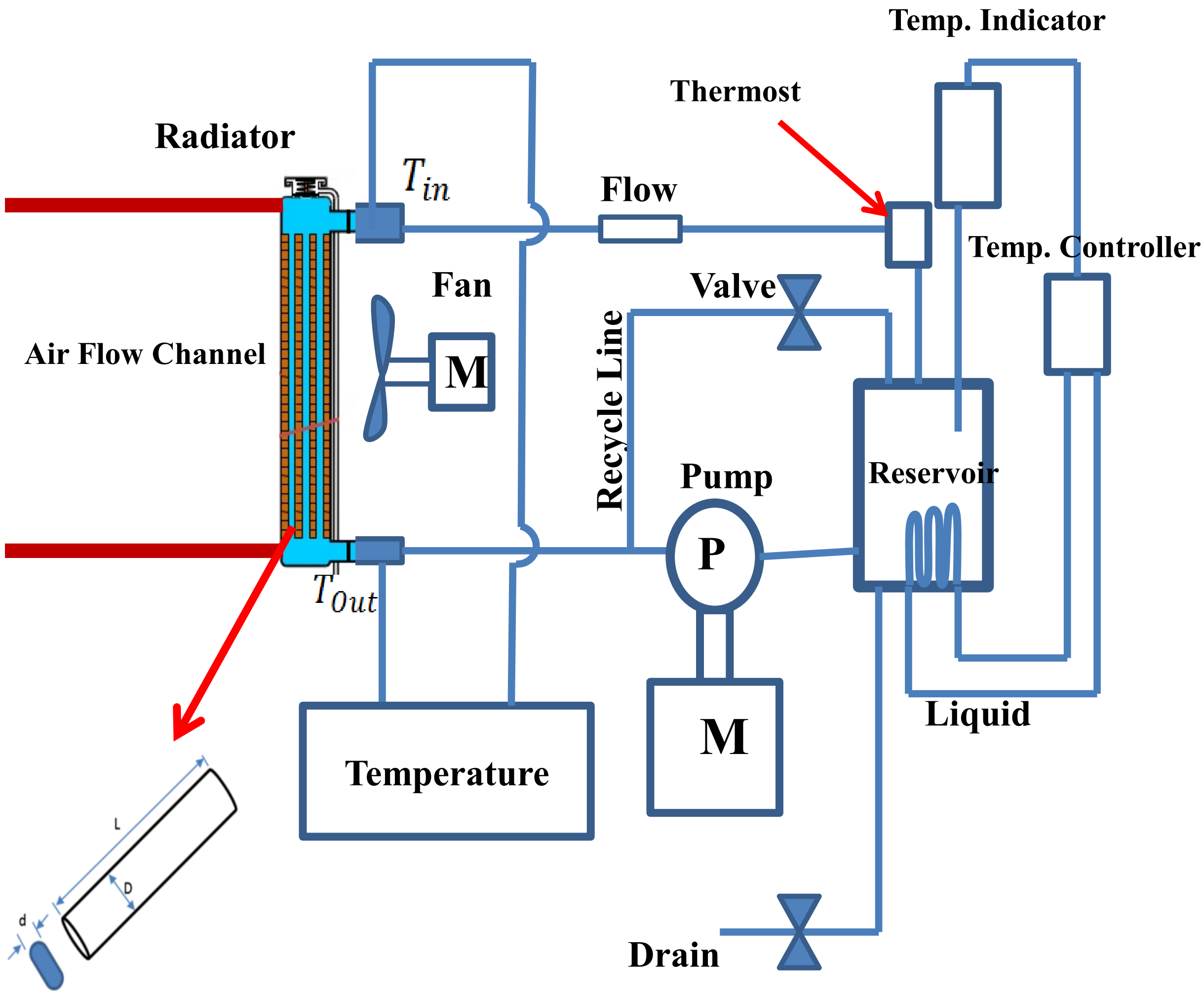
اگر چگالی نانو ذرات را (ρ_p) و چگالی سیال پایه را با (ρ_f) نشان دهیم می‌توان از رابطه (۳) درصد حجمی نانوذرات (Φ) در ۲۵ درجه سانتی‌گراد را برآورد نمود (Wang and Leon, 2010).

$$\Phi = \frac{\frac{m_p}{\rho_p}}{\frac{m_p}{\rho_p}+\frac{m_f}{\rho_f}} \qquad (۳)$$

تشریح دستگاه آزمایش

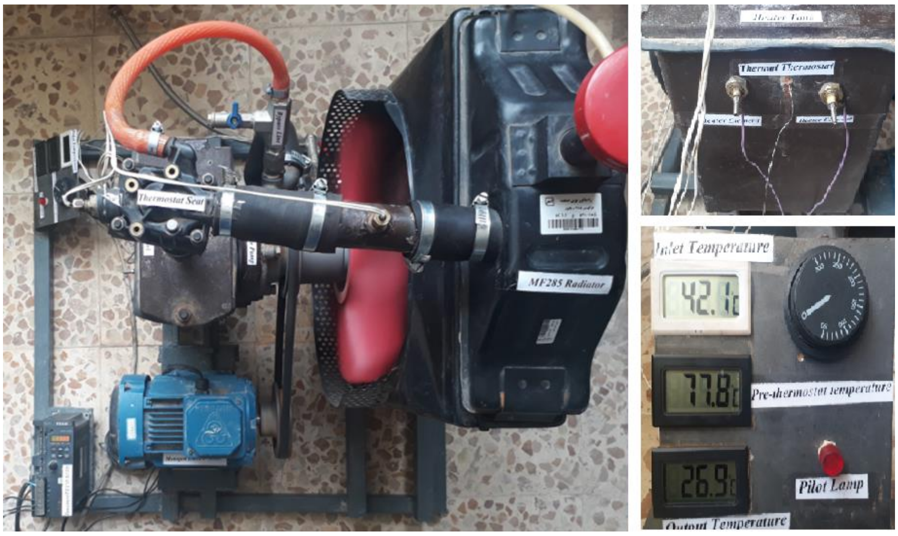
به‌منظور ساخت یک مدل آزمایشگاهی جهت تست مقدار انتقال حرارت در رادیاتور با سیال‌های متفاوت و در دبی سیال‌های مختلف و همچنین بررسی سرعت پروانه خنک‌کننده در یک موتور، ابتدا طرحواره‌ای از آن در (شکل ۳) طراحی شد.

سپس براساس طرحواره طرحی شده اقدام به ساخت نمونه اولیه آزمایشگاهی جهت بررسی انتقال حرارت رادیاتور شد. دستگاه ساخته شده داری یک مخزن، المنت گرمکن، پمپ گریز از مرکز، فلومتر، ترموستات و محل نشیمنگاه آن، شیرهای کنترل جریان، فن، ترموکوپل‌های اندازه‌گیری دما، رادیاتور، الکتروموتور سه فاز (دور حداکثر ۱۳۸۵ RPM)، اینورتر، ترموستات گرمایی و لامپ پیلوت می‌باشد (شکل ۴)



شکل ۳– شماتیک سیستم طراحی شده
Fig.3. Schematic of designed system

حجم کل مایع در گردش ۱۰ lit است و در کل مراحل آزمایش ثابت می‌باشد. برای این‌که پمپ گریز از مرکز و فن بتوانند دورهای متغیر داشته باشد الکتروموتور سه فاز که محرک پمپ می‌باشند با یک اینورتر راه‌اندازی می‌شود. با توجه به اندازه مخزن و مقدار انرژی مورد نیاز از دو عدد گرمکن ۶۰۰۰ w استفاده شد. برای اطمینان از این‌که دما از یک حدی بالاتر نرود از یک ترموستات گرمایی داخل مخزن استفاده شد. برای ثابت نگه داشتن دمای سیال ورودی به رادیاتور بین ۴۰ الی ۸۵ درجه سانتی‌گراد از یک PID کنترل استفاده شد. این کنترل‌کننده دما را روی Set Point ثابت نگه می‌دارد. از ترموکوپل قبل از ترموستات برای ورودی PID کنترلر استفاده شد. از دبی‌سنج پیستونی PD – SDC برای اندازه‌گیری دبی استفاده شد. از دو عدد ترموکوپل نوع T برای اندازه‌گیری دمای ورودی و خروجی به رایاتور و دو عدد دیگر جلو و عقب فن برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی و خروجی و ۴ عدد دیگر بر روی رادیاتور نصب شد تا دمای بدنه رادیاتور اندازه‌گیری شود. با توجه به هدایت حرارتی بالای مس و ضخامت کم لوله‌ها می‌توان دمای بیرون و داخل لوله‌ها را یکسان فرض نمود. کالیبراسیون ترموکوپل‌ها انجام شد و دقت اندازه‌گیری: $\pm 1^{\circ}C\ (0\ to\ 150^{\circ}C)$ برآورد گردید. مشخصات رادیاتور استفاده شده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ٤– مدل آزمایشگاهی ساخته شده

Fig.4. Made laboratory model

جدول ۲– مشخصات رادیاتور استفاده شده در این تحقیق

Table 2- Specifications of the radiator used in this research

نام محصول Product name	اندازه شبکه رادیاتور Radiator grille size	سایز لوله رادیاتور Radiator pipe size	تعداد ردیف لوله رادیاتور Number of rows of radiator pipes	جنس شبکه رادیاتور Radiator network material	جنس مخزن رادیاتور Radiator tank material
رادیاتور تراکتور مسی فرگوسن MF 285 Messi Ferguson Tractor Radiator MF 285	487 × 380 × 50	12.5 mm	۶ ردیف 6 rows	مسی ـ برنجی Copper-brass CuSn	ورق برنجی Brass sheet CuZn30

خواص ترموفیزیکی نانو سیال

با فرض این‌که نانو ذرات به‌خوبی درون سیال پایه پخش شده باشد و غلظت ذرات در کل سیستم یکنواخت باشد خواص فیزیکی موثر مخلوط‌های مورد مطالعه را می‌توان با استفاده از برخی فرمول‌های کلاسیک که معمولا برای مایعات دو فازی استفاده می‌شود را به‌دست آورد. از این روابط برای پیش‌بینی خصوصیات نانوسیالات مانند چگالی، گرمای ویژه، ویسکوزیته دینامیکی و هدایت حرارتی در دماها و غلظت‌های مختلف استفاده شده است. در این مقاله از روابط زیر برای نانوسیال استفاده شده است.

بر اساس رابطه (۴) دانسیته یا چگالی نانوسیالات بر اساس قانون مخلوط‌ها از رابطه پاک و چو محاسبه می‌کنند (Pak and Cho, 1998).

$$\rho_{eff}=\left(\frac{m}{V}\right)_{eff}=\frac{m_b+m_p}{V_b+V_p}=\frac{\rho_b V_b+\rho_p V_p}{V_b+V_p}=(1-\phi_p)\rho_b+\phi_b\rho_p \quad (۴)$$

ρ_{eff} چگالی نانو سیال، V_b حجم سیال پایه و V_p حجم نانوذرات است. اکثر محققان از رابطه (۵) جهت تعیین ظرفیت گرمایی ویژه استفاده می‌کنند (Xiang and Arun, 2008).

$$(\rho C_p)_{eff}=\rho_{eff}\left(\frac{Q}{m\Delta T}\right)_{eff}=\rho_{eff}\frac{Q_b+Q_p}{(m_b+m_p)\Delta T}=\rho_{eff}\frac{(mC_p)_b\Delta T+(mC_p)_p\Delta T}{(m_b+m_p)\Delta T}=\rho_{eff}\frac{(\rho C_p)_b V_b+(\rho C_p)_p V_p}{\rho_b V_b+\rho_p V_p}=(1-\phi_p)(\rho C_p)_b+\phi_p(\rho C_p)_p \quad (۵)$$

که می‌تواند به‌صورت رابطه (۶) نوشته شود.

$$C_{p,eff}=\frac{(1-\phi_p)(\rho C_p)_b+\phi_p(\rho C_p)_p}{(1-\phi_p)\rho_b+\phi_p\rho_p} \quad (۶)$$

$C_{p,eff}$ گرمای ویژه فشار ثابت نانو سیال، اندیس P برای نانوذرات و اندیس b برای سیال پایه است. پارامترهایی چون حجم نانوذرات، اندازه و شکل آن‌ها، سیال پایه، ضخامت نانولایه، تکنیک‌های پراکندگی، دما و مقدار pH و حرکت براونی نانوذرات در تعیین ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال نقش دارند (Masuda *et al.*,

1993; Turgut *et al.*, 2009; Bahiraei *et al.*, 2012; Fan *et al.*, 2008; Ghadimi and Metselaar, 2013; Yiamsawas *et al.*, 2013). مدل‌های تئوری مختلفی برای محاسبه ویسکوزیته دینامیکی نانوسیالات ارائه شده اند از میان این مدل‌ها از رابطه انیشتین برای محاسبه ویسکوزیته استفاده شد (Einstein, 1906) این رابطه برای نانو ذرات کروی و درصد حجمی‌های پایین پیشنهاد شده است (رابطه ۷).

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 - 2.5\phi) \quad (۷)$$

ϕ کسر حجمی ذرات نانو، μ_f ویسکوزیته دینامیکی سیال پایه و μ_{nf} ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال می‌باشد.

تئوری‌های مختلفی از جمله تئوری ماکسول، مدل همیلتون-کراسر، ماکسول-گارنت، براگمن و غیره برای محاسبه ضریب هدایت حرارتی نانوسیال پیشنهاد شده است. که از میان این تئوری‌ها مدل ماکسول-گارنت (Maxwell Garnett,1904) که تطابق خوبی با داده‌های تجربی دارد (Nisar, 2019) برای این تحقیق در نظر گرفته شد (رابطه ۸).

$$\frac{K_{nf}}{K_f} = \frac{(K_p+2K_f)-2\varphi(K_f-K_p)}{(K_p+2K_f)+\varphi(K_f-K_p)} \quad (۸)$$

ϕ کسر حجمی ذرات نانو، ρ دانسیته، اندیس p نشان‌دهنده‌ی نانوذرات، b نشان‌دهنده‌ی سیال پایه و nf نشان‌دهنده‌ی نانو سیال می‌باشد.

ویژگی‌های فیزیکی Al_2O_3 و سیال پایه استفاده شده در این تحقیق در جدول ۳ آورده شده است. در این تحقیق از نانوذرات کروی ۲۰ nm با درجه خلوص +۹۹ درصد استفاده شد.

جدول ۳- خواص ترموفیزیکی سیال پایه و نانو ذرات (Wen *et al.*, 2009)

Table 3- Thermophysical properties of base fluid and nanoparticles (Wen *et al.*, 2009)

خاصیت Properties	واحد Unit	Al_2O_3	اتیلن گلیکول Ethylene glycol	آب Water
(Specific heat) گرمای ویژه	$c_p(Jkg^{-1}K^{-1})$	765	2420.6	4179
(Density) چگالی	$\rho(kgm^{-3})$	3970	1110.2	997.1
(Thermal conductivity coeficient) ضریب هدایت حرارتی	$K(Wm^{-1}k^{-1})$	40	0.253	0.613
(β Coefficient) β ضریب	$\beta \times 10^{-5}(k^{-1})$	0.85	57	21

تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی

بر اساس قانون سرمایش نیوتن انتقال حرارت جابه‌جایی از رابطه (۹) به‌دست می‌آید (Hussein *et al.*, 2014).

$$Q = hA\Delta T = hA(T_b - T_w) \quad (۹)$$

که در آن Q گرمای منتقل شده، A مساحت لوله‌ها، ΔT اختلاف دما و T_b دمای کلی می‌باشد. که T_b از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید.

$$T_b = \frac{T_{in}+T_{out}}{2} \quad (۱۰)$$

(T_{out}, T_{in}) دمای ورودی و خروجی می‌باشد و T_w دمای لوله‌ها می‌باشد که از طریق چهار عدد ترموکوپل و توسط رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید.

$$T_w = \frac{1}{a}\sum_{i=1}^{a} T_i \quad (۱۱)$$

و میزان انتقال حرارت از رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید.

$$Q = m^0 \times c_p \times (T_{in} - T_{out}) \quad (۱۲)$$

در این رابطه Q گرمای منتقل شده، c گرمای ویژه و m^0 دبی جرمی جریان می‌باشد.

برای به‌دست آوردن دبی جرمی نیاز است ابتدا معادله رینولدز با توجه به رابطه (۱۳) برای سیستم نوشته شود (White, 2002):

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{cv} \eta\rho d\forall + \int_{cs} \eta\rho V dA \quad (۱۳)$$

که در آن $\eta = \frac{N}{m}$ و N یک خاصیت گسترده (مانند جرم، انرژی یا مومنتم) سیستم است. همچنین پایین نویس CV برای حجم کنترل و CS برای سطح کنترل استفاده می‌شود.

حال اگر با توجه به معادله انتقال رینولدز معادله پیوستگی را بنویسیم یعنی به جای N از جرم m استفاده کنیم رابطه (۱۴) حاصل می‌شود.

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{cv} \rho d\forall + \int_{cs} \rho V dA = 0 \quad (۱۴)$$

این معادله بیان می‌کند که نرخ افزایش جرم داخل حجم کنترل به‌علاوه نرخ خالص خروجی جرم از سطح کنترل صفر است. چون جریان دائمی در لوله داریم پس دبی جرمی خالص خروجی از سطح کنترل صفر است (رابطه ۱۵)

$$\int_{cs} \rho V dA = 0 \quad (۱۵)$$

برای جریان دائمی در یک لوله جریان، معادله پیوستگی بین دو مقطع از رابطه (۱۶) به‌دست می‌آید (White, 2002).

$$m^0 = \rho_1 V_{av1} A_1 = \rho_2 V_{av2} A_2 \Rightarrow m^0 = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (۱۶)$$

چون $A_1 = A_2$ است و سیال در کل سیکل ثابت است پس در حالت کلی میزان جرم جریان خنک‌کننده از رابطه (۱۷) به‌دست می‌آید.

$$m^0 = \rho \times Q \qquad (۱۷)$$

در این رابطه m^0 دبی جرمی بـا واحـد $(kg\ S^{-1})$، ρ چگـالی بـا واحد $(\mathrm{kg\ m^{-3}})$ و Q دبی حجمی با واحد $(m^3\ s^{-1})$ می‌باشد.

ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی (رابطـه ۱۸) از تسـاوی دو رابطـه (۹) و (۱۲) به‌دست می‌آید.

$$h_{exp} = \frac{m^0 \times c_p \times (T_{in} - T_{out})}{A \times (T_b - T_w)} \qquad (۱۸)$$

برای جریان آرام کاملاً توسـعه‌یافتـه بـا درجـه حـرارت ثابـت در سطوح لوله عدد نوسلت از رابطه (۱۹) محاسبه مـی‌شـود (Holman, 1989).

$$N_u = \frac{hD_h}{K} = 3.66 \qquad (۱۹)$$

در این رابطه D_H قطر هیدرولیکی است که از رابطه (۲۰) به‌دست می‌آید (Hussein *et al.*, 2014).

$$D_H = \frac{4 \times \left[\frac{\pi}{4} d^2 + (D-d) \times d\right]}{\pi \times d + 2 \times (D-d)} \qquad (۲۰)$$

برای محاسبه عـدد نوسلـت موضـعی در جریـان مـتلاطم کـاملاً توسعه‌یافته در لوله‌های صاف از تشابه چیلتونـ کولبرن می‌توان استفاده کرد. که در نهایت به شکل رابطه (۲۱) تحت عنـوان رابطـه کـولبرن ساده می‌شود (Holman, 1989).

$$N_u = 0.023 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}} \qquad (۲۱)$$

N_u عدد نوسلت، Re عدد رینولدز و Pr عـدد پرانتـل اسـت کـه توسط رابطه (۲۲) محاسبه شد.

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \qquad (۲۲)$$

Pr عدد پرانتل، c_p گرمای ویـژه در فشـار ثابـت، μ ویسـکوزیته دینامیکی و k ضریب هدایت حرارتی است. عدد رینولدز از رابطه (۲۳) به‌دست می‌آید.

$$Re = \frac{\rho \times D_H \times u}{\mu} \qquad (۲۳)$$

u سرعت سیال در قسمت ورودی رادیاتور است که بـا توجـه بـه دبی (Q) و سطح مقطـع لولـه رادیـاتور (A) از رابطـه (۲۴) بـه‌دسـت می‌آید.

$$u = \frac{Q}{A} \qquad (۲۴)$$

ضریب اصطکاک (f) با توجه به ΔP به‌دست آمـده از مـانومتر از رابطه (۲۵) به‌دست می‌آید.

$$f = \frac{2 \times \Delta P}{\frac{L}{D_H} \times \rho \times u^2} \qquad (۲۵)$$

ضریب اثربخشی ε برای رادیاتور از رابطه (۲۶) به‌دست می‌آید.

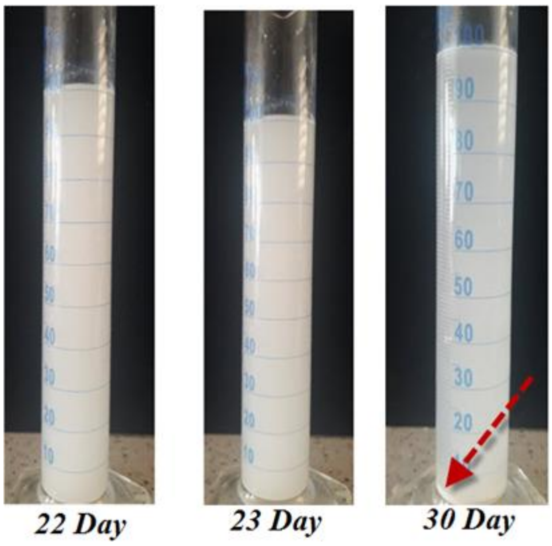
$$\varepsilon = \frac{(m \cdot c_p)_h (T_{in} - T_{out})}{(m \cdot c_p)_c (T_{in} - T_{air})} \qquad (۲۶)$$

در این رابطه h و c به‌ترتیب سیال گرم و سرد را توصیف می‌کنـد و T_{air} دمای محیط را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

بررسی زمان ته‌نشینی

برای بررسی زمان ته‌نشینی آزمایش عکس‌برداری از رسوب انجام گرفت نتایج نشان از پایداری AL_2O_3 در ۲۲ روز اول بود و بعـد از آن کم کم ته‌نشینی آغاز می‌شود (شکل ۵). نکته قابل ذکر آن اسـت کـه در این مرحله اگر از همزن برقـی و تکـان‌دهنـده مغناطیسـی دوبـاره استفاده شود مخلوط حالـت سوسپانسـیونی خـود را دوبـاره بـه‌دسـت می‌آورد. نتایج به‌دست آمده با منبع (Kouloulias, 2016) ارزیـابی و مورد تایید قرار گرفت.

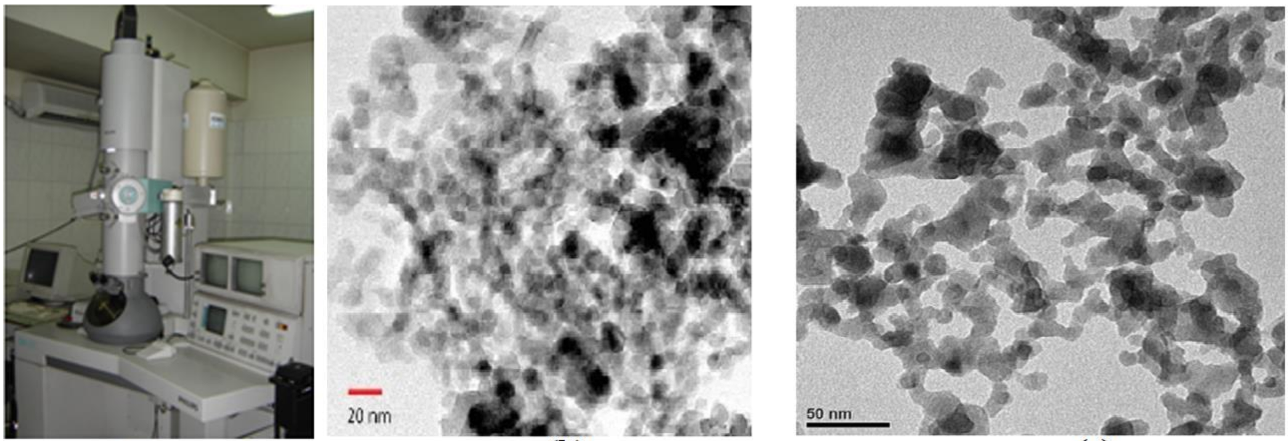


شکل ۵– آزمایش پایداری نانو سیال $\mathbf{Al_2O_3}$ (استفاده از همزن برقی و تکان‌دهنده مغناطیسی به همراه سولفکتانت)

Fig.5. Nanofluid stability test $\mathbf{Al_2O_3}$ (Use electric stirrer and magnetic stirrer with sulfate)

به‌دست آوردن ساختار مورفولوژی

برای به‌دست آوردن ساختار مورفولوژی نانوذرات از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد. این دستگاه ابزاری ویژه در مشخص نمودن ساختار و مورفولوژی مواد محسوب می‌شود که مطالعات ریزساختاری مواد با قدرت تفکیک بالا و بزرگ‌نمایی خیلی زیاد را امکان‌پذیر می‌سازد. بعد از آماده‌سازی نمونه تصور TEM از نانوذرات تهیه گردید. تفاوت شکل ظاهری نانو ذرات ۲۰ nm و ۵۰ nm در شکل ۶ نشان داده شد.



(a) (b) (c)

شکل ٦– (a) دستگاه TEM ، (b) تصویر TEM از نانو ذرات AL_2O_3 (۲۰ nm)، (c) تصویر TEM از نانو ذرات AL_2O_3 (۵۰ nm)

Fig.6. (a) TEM Device, (b) TEM image of AL_2O_3 nanoparticles (20 nm), (c) TEM image of AL_2O_3 nanoparticles (50 nm)

به‌دست آوردن چگالی، گرمای ویژه، ویسکوزیته دینامیکی، نسبت ضریب هدایت حرارتی نانوسیال به سیال پایه، ضریب اصطکاک و ضریب اثربخشی

در این قسمت ابتدا بر اساس روابط تخمینی ارائه شده برای کسرهای حجمی صفر تا ۴ درصد مقادیر چگالی، گرمای ویژه، ویسکوزیته دینامیکی و ضریب هدایت حرارتی نانوسیال نسبت به سیال پایه به‌دست آمد. این مقادیر در جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ٤– چگالی، گرمای ویژه، ویسکوزیته دینامیکی و ضریب هدایت حرارتی نانو سیال نسبت به سیال پایه

Table 4- Density, specific heat, viscosity and thermal conductivity of nanofluids compared to base fluid

ماکسول گارنت **Maxwell-Garnett** (K_{nf}/K_f)	$\mu\ (kg.m^{-1}.s^{-1})$ (T=30)	$c_p(Jkg^{-1}K^{-1})$	$\rho(kgm^{-3})$	درصد حجمی (%) Volumetric percentage
1	0.79	4179	997.1	0
1.03	0.77	4050	1026	1
1.061	0.75	3924	1056	2
1.092	0.73	3805	1086	3
1.124	0.71	3693	1116	4

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد در نانو سیال با ۴٪ کسر حجمی نسبت به ۱٪ کسر حجمی شاهد افزایش ۸/۷٪ چگالی، ۷/۷٪ ویسکوزیته دینامیکی و ۹/۱٪ ضریب هدایت حرارتی و همچنین کاهش ۸/۸٪ گرمای ویژه هستیم. مقادیر به‌دست آمده برای چگالی با منابع (Pak and Cho, 1998; Heyhat *et al.*, 2012)، گرمای ویژه با منابع (Pak and Cho, 1998; Pandey and Nema, 2012)، ویسکوزیته دینامیکی با منابع (Masuda *et al.*, 1993; Wang and Choi, 1999; Nguyen *et al.*, 2008; Williams *et al.*, 2008) و ماکسول-گارنت با منبع (Maxwell Garnett, 1904) مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب اصطکاک با افزایش کسر حجمی نانوذرات در سیال پایه افزایش و با افزایش عدد رینولدز کاهش یافت. همچنین با افزایش دبی و کسر حجمی ضریب

اثربخشی رادیاتور افزایش را نشان داد. این موارد با منبع (Hussein, 2014) ارزیابی و تایید شد.

بررسی انتقال حرارت در مدل آزمایشگاهی طراحی شده.

اندازه‌گیری دبی سیال بر اساس فرکانس کاری الکتروموتور

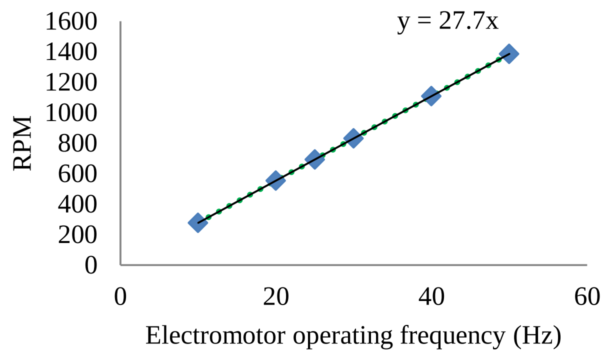
به‌منظور بررسی مقدار انتقال حرارت در مدل آزمایشگاهی ساخته شده ابتدا نیاز است دبی سیال عبوری به‌صورت تقریبی بر اساس دور الکتروموتور یا فرکانس کاری آن مشخص شود (جدول ۵). در این مدل برای بررسی دبی از فلومترمدل پیستونی *PD-SDC* استفاده شد.

در ادامه بر اساس اطلاعات جدول ۵ می‌توان نمودار سرعت الکتروموتور بر اساس فرکانس کاری را ترسیم نمود که بر اساس این نمودار می‌توان به‌صورت تقریبی دور الکتروموتور را زمانی که فرکانس کاری را توسط اینورتر اعمال می‌کنیم در دست داشته باشیم این نمودار در شکل ۷ آورده شده است.

جدول ۵– اندازه‌گیری دبی سیال در فرکانس‌های کاری متفاوت الکتروموتور

Table 5- Measurement of fluid flow at different operating frequencies of the electromotor

دبی ($lit\ min^{-1}$Flow)	دور الکتروموتور **Electromotor speed (RPM)**	فرکانس کاری **Operating frequency (HZ)**
15.08	1385	50
11.9	1108	40
9.53	831	30
8.1	692.5	25
6.46	554	20
3.18	277	10



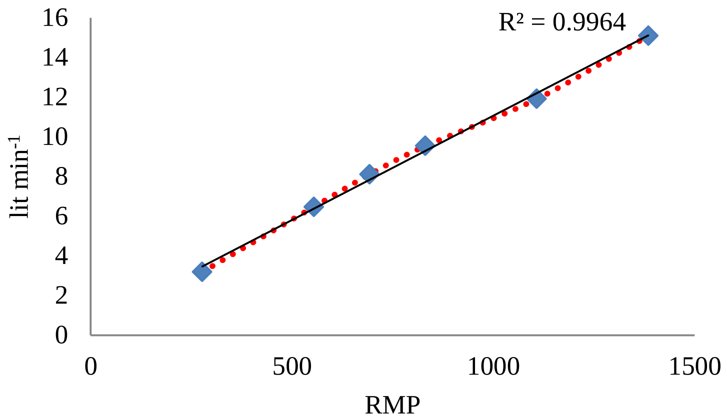
شکل ۷– نمودار تعیین سرعت الکتروموتور بر اساس فرکانس کاری آن

Fig.7. Determination of electromotor speed based on its operating frequency

با این کار می‌توان دبی سیال در حال عبور از سیستم را بر اساس فرکانس کاری یا دور الکتروموتور حدس زد همچنین می‌توان بر اساس داده‌های جدول ۵، نمودار ۸ را ترسیم نمود. که در آن دبی سیال بر اساس سرعت الکتروموتور تعیین می‌شود.

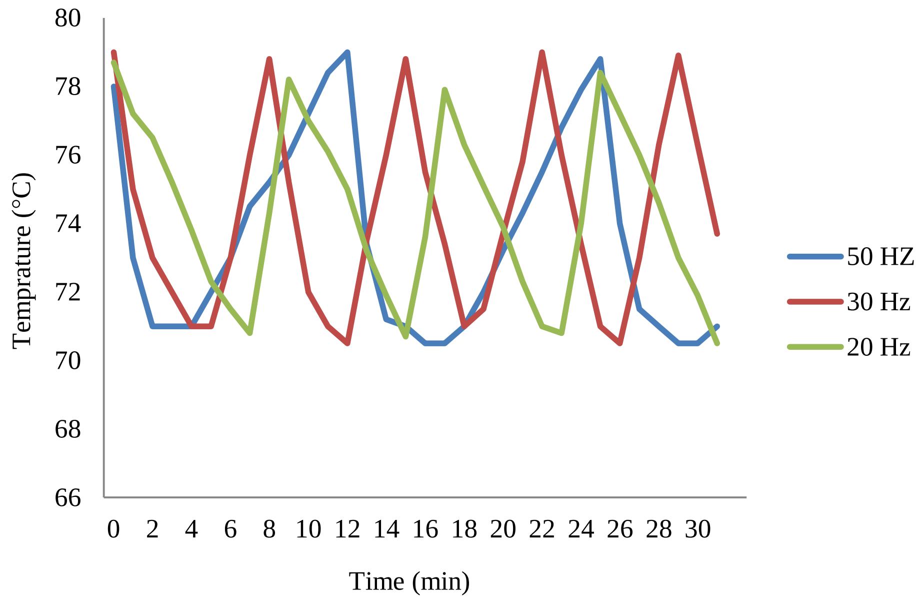
بررسی دمای باز و بسته شدن ترموستات در دورهای مختلف الکتروموتور

در هنگام آزمایش با توجه به دور الکتروموتور زمان اولین باز شدن ترموستات تغییر پیدا می‌کند. چون هرچه‌قدر سرعت الکتروموتور زیاد باشد هوای بیشتری به بدنه مخزن برخورد نموده و انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری بیشتری در آن انجام می‌شود. بنابراین بین ۱۰ دقیقه (زمانی که الکتروموتور خاموش است) تا حدودا ۲۵ الی ۳۰ دقیقه (زمانی که الکتروموتور با سرعت حداکثر کار می‌کند) طول می‌کشد تا ترموستات برای اولین بار باز شود. در شکل ۱۰ بعد از این‌که سنسور قبل از ترموستات که می‌تواند دمای فعال و غیرفعال شدن ترموستات را گزارش کند به دمای حداکثر رسید. شروع به ترسیم نمودار برای دورهای مختلف الکتروموتور نمودیم (شکل ۹).



شکل ۸- نمودار تعیین دبی سیال بر اساس سرعت الکتروموتور

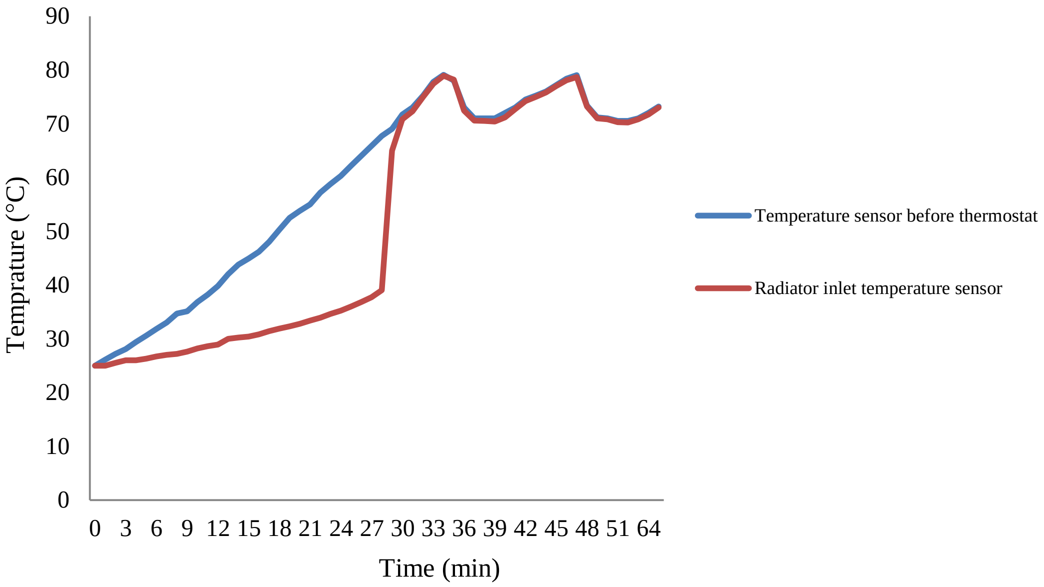
Fig.8. Fluid flow chart based on electromotor speed



شکل ۹- بررسی دمای باز و بسته شدن ترموستات با سه دور مختلف الکتروموتور

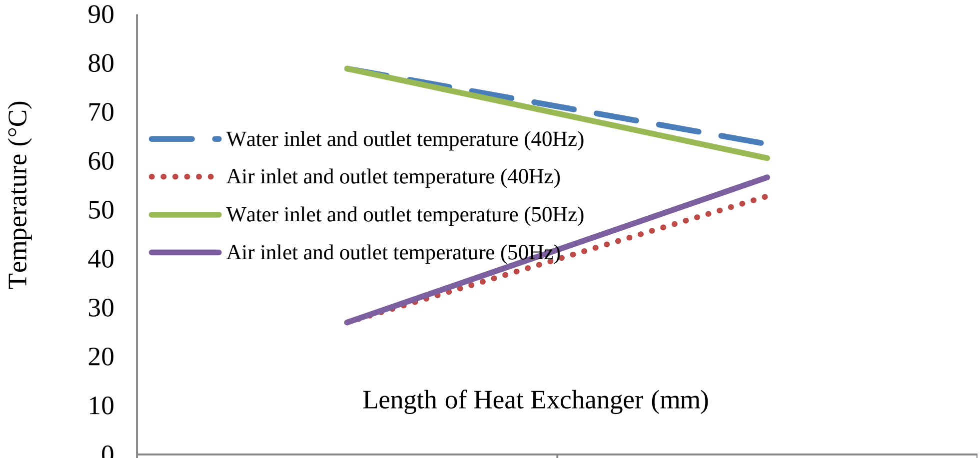
Fig.9. Evaluation of opening and closing temperature of the thermostat with three different electromotor circuits

زمانی‌که سرعت الکتروموتور زیاد است اولا سیال خنک‌کننده با سرعت بیشتری عبور نموده و دوما سیال هوا با سرعت بیشتری انتقال حرارت اجباری را انجام می‌دهد. هرچه‌قدر سرعت الکتروموتور زیاد باشد سرعت خنک شدن سیال سریع‌تر و در نتیجه سرعت بسته شدن سریع‌تر (شیب نمودار نزولی از حداکثر دما به حداقل دما تندتر) می‌باشد. همچنین با باز شدن ترموستات زمان رسیدن به دمای حداکثر با شیب کندتری اتفاق می‌افتد. با کاهش سرعت این عملیات برعکس می‌شود. یعنی شیب نمودار بسته شدن بیشتر و فرآیند باز شدن حداکثر ترموستات در زمان کمتری اتفاق می‌افتد. در ادامه سرعت الکتروموتور در حالت حداکثر قرار داده (فرکانس کاری ۵۰ HZ) و دمای سنسورهای قبل ترموستات، ورودی و خروجی رادیاتور در مدل آزمایشگاهی بررسی شده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- بررسی دمای سنسورهای قبل ترموستات، ورودی و خروجی رادیاتور در مدل آزمایشگاهی طراحی شده

Fig.10. Evaluation of sensors temperature before the thermostat, radiator inlet and outlet in the designed laboratory model

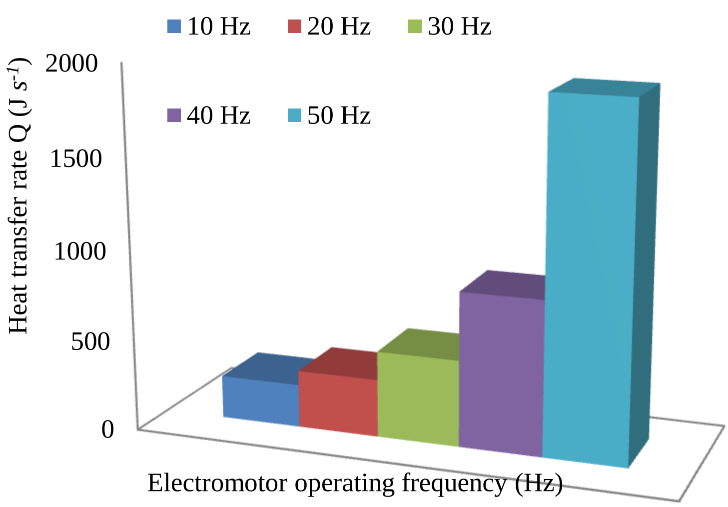


	1	2
Water inlet and outlet temperature (40Hz)	78.9	63.5
Air inlet and outlet temperature (40Hz)	27	52.8
Water inlet and outlet temperature (50Hz)	78.9	60.6
Air inlet and outlet temperature (50Hz)	27	56.7

شکل ۱۱- تغییرات دما در طول رادیاتور در دورهای 40 Hz و 50 Hz

Fig.11. Temperature changes during the radiator length in 40 Hz and 50 Hz cycles

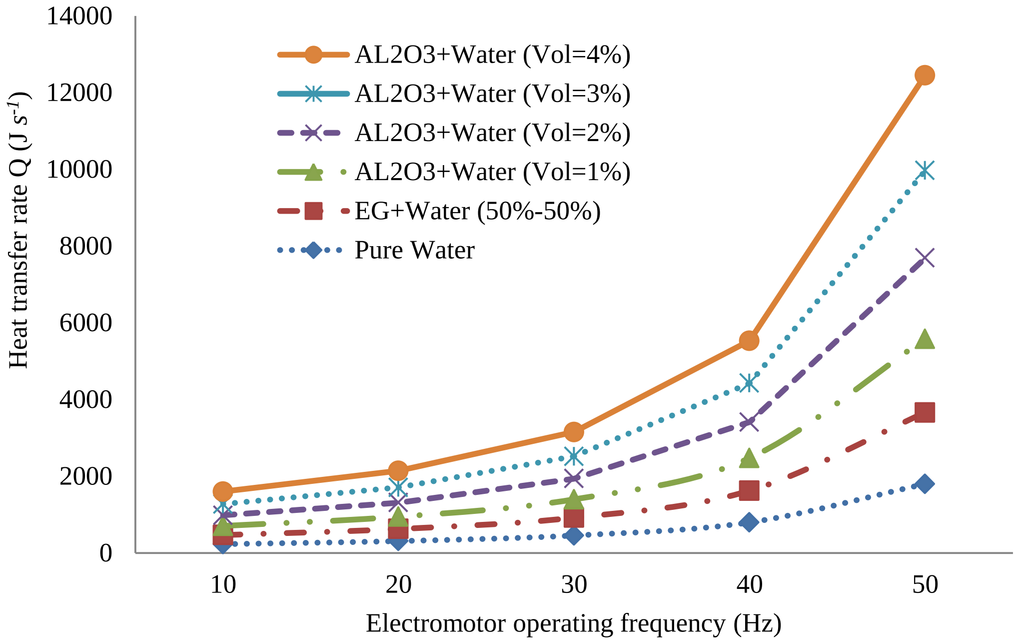
با شروع آزمایش با توجه به بسته بودن ترموستات دمای سنسور قبل از ترموستات با یک شیب تقریبا خطی افزایش پیدا می‌کند. تند بودن یا کند بودن این شیب به توان حرارتی تولید شده المنت‌های حرارتی بستگی دارد. تا قبل از باز شدن ترموستات سنسور بعد از ترموستات تغییرات دمایی کمی را دارد. افزایش دمای کمی که در سنسور ورودی رادیاتور قبل از باز شدن ترموستات ملاحظه می‌شود به خاطر عبور سیال از سوراخ تعبیه شده بر روی ترموستات است و درضمن هرچه‌قدر دما افزایش پیدا می‌کند جیوه داخل مخزن ترموستات افزایش حجم پیدا کرده و به فنر ترموستات فشار وارد می‌کند و کوچک‌ترین فشاری می‌تواند باعث باز شدن قسمتی از ترموستات و نهایتا عبور مقداری از سیال خنک‌کننده شود. در این میان سنسور دمای خروجی ترموستات از دمای اولیه هم کمی کمتر را نشان می‌دهد. چون هیچ جریانی با توجه به بسته بودن ترموستات از رادیاتور عبور نکرده و از طرفی چون سیال داخل رادیاتور در حال خنک شدن توسط هوا می‌باشد. دمای داخل رادیاتور کم شده و بر روی سنسور خروجی تاثیر می‌گذارد. با شروع باز شدن ترموستات دمای ورودی رادیاتور یک افزایش سریع و با شیب تند را دریافت نموده و دمای خود را به دمای سنسور قبل ترموستات می‌رساند. از این لحظه به بعد دمای این دو سنسور تقریبا با هم برابر بوده و اختلاف آن‌ها کمتر از یک درجه سانتی‌گراد می‌شود. همچنین با عبور سیال گرم از رادیاتور دمای سنسور خروجی نیز با شیب تندی افزایش یافته و سپس با رسیدن به دمای حداکثر خود با الگوی مناسبی از سنسور دمای ورودی تبعیت می‌کند. اختلاف دمای بین این دو سنسور در مواقعی که ترموستات باز بوده و سیال از رادیاتور عبور می‌کرد به‌طور متوسط بین ۱۲ الی ۱۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. تغییرات دمای هوا و سیال خنک‌کننده آب در طول رادیاتور در دورهای Hz ۴۰ و Hz ۵۰ الکتروموتور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در نمودار شکل ۱۱ گزارش گردید.



	1
10 Hz	238.7
20 Hz	319.4
30 Hz	478.6
40 Hz	853.2
50 Hz	1920

شکل ۱۲– تاثیر سرعت الکتروموتور بر میزان نرخ انتقال حرارت (در یک درصد حجمی نانو ذرات)

Fig.12. The effect of electromotor speed on heat transfer rate (In one percentage by volume of nanoparticles)



شکل ۱۳– تاثیر سرعت الکتروموتور بر میزان نرخ انتقال حرارت

Fig.13. The effect of electromotor speed on heat transfer rate

نتایج نشان می‌دهد با افزایش سرعت الکتروموتور از Hz ۴۰ به Hz ۵۰ دمای سیال خنک‌کننده آب در قسمت خروجی به مقدار ۴/۷ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر شده و دمای هوای در قسمت خروجی ۷/۳ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر می‌شود.

تاثیر سرعت الکتروموتور بر نرخ انتقال حرارت

در این آزمایش ترموستات از روی سیستم برداشته شد. تا سیال بدون محدودیت در سیکل دوران داشته باشد. برای حالتی که مقدار نانوذرات یک درصد حجمی می‌باشد و برای حداکثر اختلاف دمای ورودی و خروجی رادیاتور (۱۵ درجه) مقادیر نرخ انتقال حرارت محاسبه و در نمودار ۱۲ نشان داده شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش سرعت الکتروموتور از Hz ۱۰ به Hz ۲۰ نرخ انتقال حرارت به‌طور متوسط ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۳ نرخ انتقال حرارت برای سیال پایه آب و نانو سیال با کسر حجمی مختلف ترسیم شد.

نتایج نشان می‌دهد در دور حداکثر الکتروموتور، زمانی که کسر حجمی نانو ذرات ۴ درصد است نسبت به زمانی که یک درصد می‌باشد نرخ انتقال حرارت متوسط ۲۹ درصد بیشتر می‌شود.

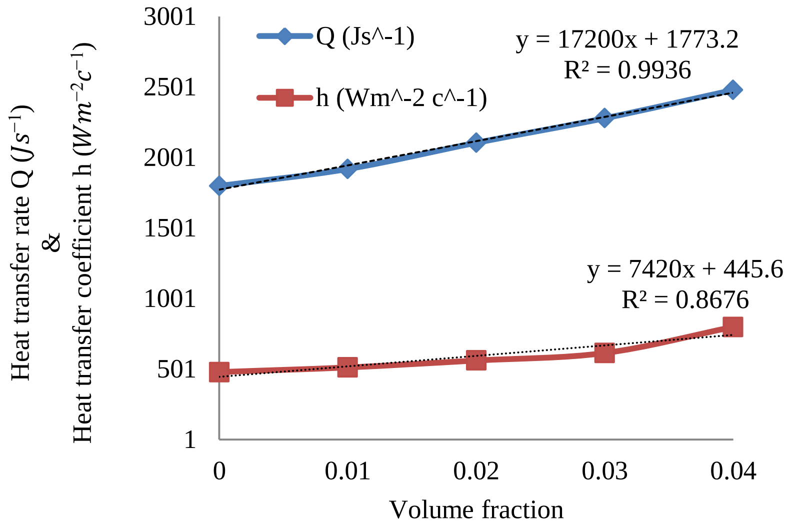
تاثیر کسر حجمی نانو ذرات بر نرخ انتقال حرارت

افزایش انتقال حرارت در رادیاتور با استفاده از نانوذرات Al_2O_3 به قطر nm ۲۰ در سیال پایه آب با درصدهای حجمی ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌صورت تجربی مورد آزمایش قرار گرفت. سرعت جریان سیال خنک‌کننده توسط دبی‌سنج پیستونی PD-SDC از ۱۸/۳ تا ۰۸/۱۵ لیتر در دقیقه و سرعت جریان هوا توسط فلومتر جریان هوا مدل KIMO LV130 از ۲/۳ تا ۴/۶ متر برثانیه اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد در حداکثر مقدار سرعت جریان هوا و سیال خنک‌کننده با افزودن ۴ درصد حجمی نانوذرات به سیال پایه می‌توان نرخ انتقال حرارت را به‌طور متوسط ۳۷ درصد نسبت به سیال پایه افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).

ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی

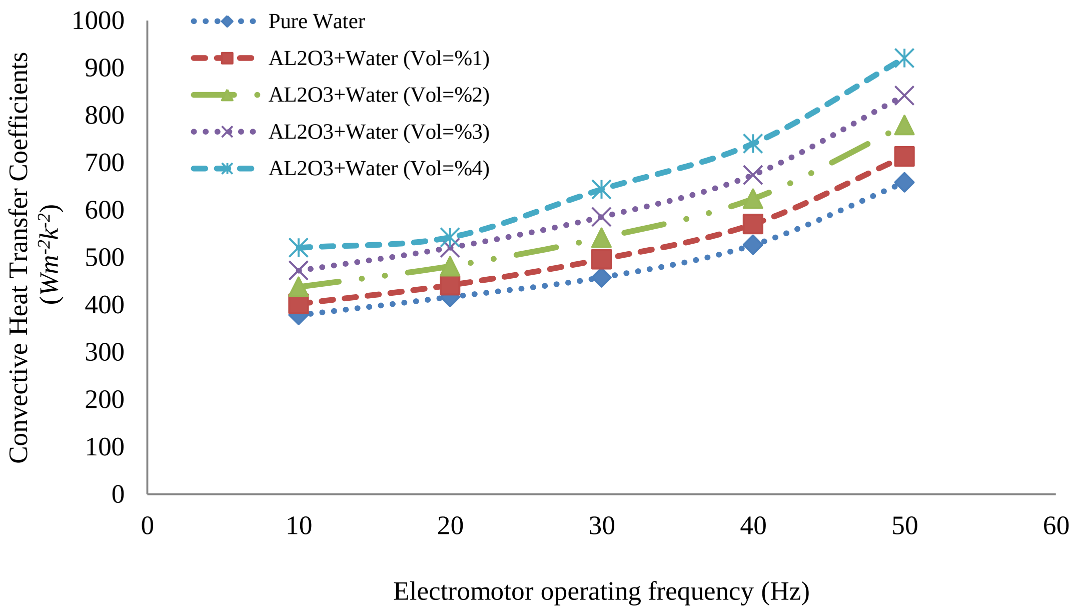
در این آزمایش دمای هوای خنک‌کننده ۲۷ درجه سانتی‌گراد و اختلاف دمای سیال خنک‌کننده در قسمت ورودی و خروجی رادیاتور حداکثر مقدار بود. ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در نانو سیالات با توجه به سرعت جریان و جزء حجمی نانو ذرات تغییر کرده و در صورت وجود شرایط یکسان بیشتر از مقدار مشابه در سیال پایه می‌باشد (شکل ۱۵).

به‌طور مثال در مقایسه با آب، نانوسیال حاوی ۴٪ حجمی از Al_2O_3 در دور حداکثر دارای افزایش ۲۸ درصدی در ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی است. همچنین با افزایش دور الکتروموتور از Hz ۲۰ به Hz ۴۰ ضریب انتقال حرارت آب خالص به‌طور متوسط ۲۶٪ و نانوسیال ۲۹٪ افزایش را نشان می‌دهد.



شکل ١٤– تاثیر درصد حجمی نانو ذرات بر نرخ انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی

Fig.14. The effect of volume percentage of nanoparticles on heat transfer rate and heat transfer coefficient



شکل ١۵– تاثیر افزایش سرعت الکتروموتور بر روی ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در درصد حجمی‌های مختلف

Fig.15. The effect of increasing the motor speed on the displacement heat transfer coefficient in different volume percentages

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد در نانو سیال با ۴٪ کسر حجمی نسبت به ۱٪ کسر حجمی افزایش ۸/۷٪ چگالی، ۷/۷٪ ویسکوزیته دینامیکی و ۹/۱٪ ضریب هدایت حرارتی و همچنین کاهش ۸/۸٪ گرمای ویژه شد. حداکثر اختلاف دمای بین سنسور ورودی و خروجی رادیاتور زمانی که ترموستات باز است و سیال خنک‌کننده از داخل رادیاتور جریان دارد ۱۲ الی ۱۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. با افزایش

سرعت الکتروموتور از Hz ۴۰ به Hz ۵۰ دمای سیال خنک‌کننده آب در قسمت خروجی به مقدار ۴/۷ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر شده و دمای هوای در قسمت خروجی ۷/۳ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر می‌شود. با افزایش سرعت الکتروموتور نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد در حداکثر مقدار سرعت جریان هوا و سیال خنک‌کننده با افزودن ۴ درصد حجمی نانوذرات به سیال پایه می‌توان نرخ انتقال حرارت را به‌طور متوسط ۳۷ درصد نسبت به سیال پایه افزایش داد. در مقایسه با آب، نانوسیال حاوی ۴٪ حجمی از Al_2O_3 در دور حداکثر دارای افزایش ۲۸ درصدی در ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی است. همچنین با افزایش دور الکتروموتور از Hz ۲۰ به Hz ۴۰ ضریب انتقال حرارت آب خالص به‌طور متوسط ۲۶٪ و نانو سیال ۲۹٪ افزایش را نشان می‌دهد. وجود نانوسیال در سیستم خنک‌کننده موتور باعث افزایش انتقال حرارت از رادیاتور شده و با وجود این خصوصیت، اندازه و وزن رادیاتور می‌تواند کاهش یابد بدون این‌که بر عملکرد انتقال حرارت آن تأثیر بگذارد.

References

1. Bahiraei, M., S. M. Hosseinalipour, K. Zabihi and E. Taheran. 2012. Using neural network for determination of viscosity in water-TiO_2 nanofluid. Advances in Mechanical Engineering 4: 1-10. https://doi.org/10.1155/2012/742680.
2. Bozorg Bigdeli, M., M. Fasano, A. Cardellini, E. Chiavazzo, and P. Asinari. 2016. A review on the heat and mass transfer phenomena in nanofluid coolants with special focus on automotive applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 60: 1615-1633. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.027.
3. Chiou, J. P. 1980. The effect of the flow nonuniformity on the sizing of the engine radiator. SAE paper no.800035, Society of Automotive Engineers 91: 250-260. DOI: https://doi.org/10.4271/800035.
4. Choi, S. U. S. 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. International Mechanical Engineering Congress & Exposition (ASME) 66: 99-105.
5. Das, S. K., N. Putra, P. Thiesen, and W. Roetzel. 2003. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids. Journal of Heat Transfer 125 (4): 567-574. https://doi.org/10.1115/1.1571080.
6. Das, S., S. Choi, and H. Patel. 2006. Heat transfer in nanofluids – a review. Heat Transfer Engineering 27 (10): 3-19. https://doi.org/10.1080/01457630600904593.
7. Einstein, A. 1906. Eine neue bestimmung der moleküldimensionen. Annalen der Physik 324 (2): 289-306. https://doi.org/10.1002/andp.19063240204.
8. Fan, X., H. Chen, Y. Ding, P. K. Plucinski, and A. A. Lapkin. 2008. Potential of ‘nanofluids’ to further intensify microreactors. Green Chemistry 10 (6): 670-677.
9. Ghadimi, A., and I. H. Metselaar. 2013. The influence of surfactant and ultrasonic processing on improvement of stability. thermal conductivity and viscosity of titania nanofluid. Experimental Thermal and Fluid Science 51: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.06.001.
10. Gifford, N. L., A. G. Hunt, E. Savory, and R. J. Martinuzzi. 2006. Experimental study of low-pressure automotive cooling fan Aerodynamics under blocked Conditions. Canadian Society for Mechanical Engineering 1: 1-8.
11. Heydarbeigi, G. 2017. Investigation of the effect of using copper nanofluid, silver nanofluid and aluminum oxide on the heat transfer rate of Ferguson 285 copper tractor engine radiator. First International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences. Natural Resources and Environment. https://civilica.com/doc/673996.
12. Heyhat, M. M., F. Kowsary, A. M. Rashidi., S. Alem Varzane Esfehani, and A. Amrollahi. 2012. Experimental investigation of turbulent flow and convective heat transfercharacteristics of alumina water nanofluids in fully developed flow regime. International Communication in Heat and Mass Transfer 39 (8): 1272-1278. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.06.024.
13. Hussein, A. M., R. A. Bakar, and K. Kadirgama. 2014. Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. Case Studies Thermal Engineering 2: 50-61. https://doi.org/10.1016/j.csite.2013.12.001.
14. Holman, J. P. 1989. Heat Transfer. McGraw-Hill Book Co., New York.
15. Kong, L., J. Sun, and Y. Bao. 2017. Preparation, characterization and tribological mechanism of nanofuids. Royal Society of Chemistry Advances 7: 12599-12609. https://doi.org/10.1039/C6RA28243A.
16. Kouloulias, K., A. Sergis, and Y. Hardalupas. 2016. Sedimentation in nanofluids during a natural convection experiment. International Journal of Heat and Mass Transfer 101: 1193-1203. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.113.
17. Leong, K. Y., R. Saidur, S. N. Kazi, and A. H. Mamun. 2010. Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator). Applied Thermal Engineering 30: 2685-2692. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.07.019.

18. Masuda, H., A. Ebata, and K. Teramae. 1993. Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. Dispersion of Al_2O_3, SiO_2 and TiO_2 ultra-fine particles. Netsu Bussei 7: 227-233.
19. Maxwell, J. C. 1891. A Treatise on Electricity and Magnetism. Clarendon Press, Oxford, UK.
20. Maxwell Garnett, J. 1904. Colours in metal glasses and in metallic films. Philosophical Transactions the Royal Society 203: 385-420. https://doi.org/10.1098/rsta.1904.0024.
21. Morris, S. C., J. J. Goad, and J. F. Fess. 1998. Velocity measurements in the wake of an automotive cooling fan. Experimental Thermal and Fluid Science 7: 100-106. https://doi.org/10.1016/S0894-1777(97)10054-1.
22. Nguyen, C., F. Desgranges, G. Roy, N. Galanis, T. Mare, S. Boucher, and H. A. Mintsa. 2008. Viscosity data for Al_2O_3–water nanofluid–hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?. International Journal of Thermal Sciences 47 (2): 103-111. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2007.01.033.
23. Nisar, K. S., D. Khan, A. Khan, W. A. Khan, I. Khan, and A. M. Aldawsari. 2019. Entropy Generation and Heat Transfer in Drilling Nanoliquids with Clay Nanoparticles. Entropy 21 (12): 1226. https://doi.org/10.3390/e21121226.
24. Oliet, C., A. Oliva, J. Castro, and C. D. Pe´rez-Segarra. 2007. Parametric studies on automotive radiators. Applied Thermal Engineering 27: 2033-2043. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.12.006.
25. Pak, B. C., and Y. I. Cho. 1998. Hydraulic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. Experimental Heat Transfer 11 (2): 151-170. https://doi.org/10.1080/08916159808946559.
26. Pandey, S. D., and V. K. Nema. 2012. Experimental analysis of heat transfer and friction factor of nanofluid as a coolant in a corrugated plate heat exchanger. Experimental Thermal and Fluid Science 38: 248-256. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2011.12.013.
27. Pecora, R. 1985. Dynamic Light Scattering. Applications of Photon Correlation Spectroscopy. Springer.
28. Peyghambarzadeh, S. M., S. H. Hashemabadi, M. Seiji Jamnani, and S. M. Hoseini. 2011 a. Improving the cooling performance of automobile radiator with Al_2O_3/water nanofluid. Applied Thermal Engineering 31 (10): 1833-1838. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.029.
29. Peyghambarzadeh, S. M., S. H. Hashemabadi, S. M. Hoseini, and M. Seiji Jamnani. 2011 b. Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol based nanofluids as a new coolant for car radiators. International Communications in Heat and Mass Transfer 38 (9): 1283-1290. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.07.001.
30. Raja, M., R. Vijayan, P. Dineshkumar, and M. Venkatesan. 2016. Review on nanofluids characterization, heat transfer characteristics and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 64: 163-173. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.079.
31. Sabralilou, B., A. Mohebbi, E. Akbarian, and A. Rezvanivand fanaei. 2020. Aero-acoustical study of axial fan using computational fluid dynamics. Journal of Agricultural Machinery 10 (2): 255-264. (In Persian). DOI: 10.22067/jam.v10i2.74963.
32. Turgut, A., I. Tavman, M. Chirtoc, H. P. Schuchmann, C. Sauter, and S. Tavman. 2009. Thermal conductivity and viscosity measurements of waterbased TiO_2 nanofluids. International Journal of Thermophysics 30 (4): 1213-1226.
33. Xiang-Qi, W., and A. Mujumdar, S. 2008. A review on nanofluids- Part I: theoretical and numerical investigations. Brazilian Journal of Chemical Engineering 25 (4): 613-630. https://doi.org/10.1590/S0104-66322008000400001.
34. Wang, X., X. Xu, S. U. S. Choi. 1999. Thermal conductivity of nanoparticle–fluid mixture. Journal of Thermophysics and Heat Transfer 13: 474-480. https://doi.org/10.2514/2.6486.
35. Wen, D., G. Lin, and S. Vafaei. 2009. Review of nanofluids for heat transfer applications. Particuology 7: 141-150. https://doi.org/10.1016/j.partic.2009.01.007.
36. White, F. M. 2002. Fluid Mechanics, McGraw-Hill; 5th ed.
37. Williams, W. C., J. Buongiorno, and W. L. Hu. 2008. Experimental investigation of turbulent convective heat transfer and pressure loss of alumina/water and zirconia/water nanoparticle colloids (nanofluids) in horizontal tubes. Journal of Heat Transfer 130 (4): 042412. https://doi.org/10.1115/1.2818775.
38. Wong, K. V., and O. D. Leon. 2010. Applications of nanofluids. Current and future. Advances in Mechanical Engineering Article ID 519659: 1-11. https://doi.org/10.1155/2010/519659.
39. Yiamsawas, T., A. S. Dalkilic, O. Mahian, and A. Wongwises. 2013. Measurement and correlation of the viscosity of waterbased Al_2O_3 and TiO_2 nanofluids in high temperatures and comparisons with literature reports. Journal of Dispersion Science and Technology 34 (12): 1697-1703. https://doi.org/10.1080/01932691.2013.764483.